

**ANALISIS PENGARUH BEBAN TIDAK
SEIMBANG TERHADAP EFISIENSI
TRANSFORMATOR DAYA TIGA FASA DI
PT. PLN (PERSERO) RAYON DAYA**

Aszet Idulfitri Darmanto Kadir (1424041014)

Penulis, Pendidikan Teknik Elektro, Universitas

Negeri Makassar

Aszet2pte@gmail.com

Aszet Idulfitri Darmanto Kadir. 2019. *Analisis Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi Transformator Daya Tiga Fasa di PT. PLN (Persero) Rayon Daya*. Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar. Pembimbing Syarifuddin Kasim dan Zulhajji.

Penelitian ini bertujuan menentukan presentase ketidakseimbangan beban, menentukan efisiensi transformator pada beban seimbang, menentukan efisiensi transformator pada beban tidak seimbang serta mengetahui peningkatan rugi daya pada transformator akibat beban tidak seimbang pada Penyulang Poltek di PT. PLN (Persero) Rayon Daya. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif. Data penelitian diperoleh dengan observasi dan dokumentasi. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan hasil perhitungan rata-rata presentase ketidakseimbangan beban sebesar 20.34 %, efisiensi transformator pada Penyulang Poltek yaitu pada beban seimbang 98.68 % dan beban tidak seimbang sebesar 98.64 %, dan peningkatan rugi daya akibat beban tidak seimbang sebesar 294.715 W.

Kata kunci : Ketidakseimbangan beban, presentase ketidakseimbangan beban, efisiensi dan peningkatan rugi daya.

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tenaga listrik saat ini telah menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat, sehingga pasokan energi listrik harus dijaga kontinuitasnya agar dapat menyediakan pelayanan secara terus menerus dan merata dengan mutu dan keandalan yang mampu memenuhi kebutuhan masyarakat. Untuk

mencapai hal tersebut diperlukan suatu sistem tenaga listrik yang handal. Tetapi, dalam pelaksanaannya suatu sistem tenaga listrik tidak lepas dari berbagai macam gangguan yang dapat menyebabkan menurunnya keandalan dan kualitas energi listrik.

Beban yang dilayani suatu transformator pada suatu sistem distribusi diusahakan agar tetap seimbang, tetapi dalam kenyataannya sering terjadi ketidakseimbangan beban. Ketidaksamaan beban yang terjadi pada tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S dan fasa T) ini menyebabkan arus beban berubah-ubah maka rugi-rugi tembaga juga berubah. Semakin besar ketidakseimbangan beban suatu transformator maka rugi daya yang ditimbulkan juga akan semakin besar sehingga efisiensi dari transformator tersebut akan menurun. Menurunnya efisiensi suatu transformator akan mempengaruhi kinerjanya dalam mensuplai daya listrik kepada konsumen, karena kapasitas daya yang seharusnya dapat disalurkan oleh transformator sebagian besar menjadi rugi daya yang hilang menjadi panas. Panas yang tinggi juga dapat merusak transformator, sehingga menyebabkan kerugian pada pelanggan dan PLN.

B. Rumusan Masalah

Adapun masalah yang ingin diselesaikan dalam penelitian ini antara lain :

1. Seberapa besar presentase ketidakseimbangan beban dari transformator distribusi tiga fasa tak seimbang?
2. Seberapa besar efisiensi transformator untuk beban seimbang?
3. Seberapa besar efisiensi transformator untuk beban tidak seimbang?
4. Seberapa besar peningkatan rugi daya pada transformator distribusi akibat beban tidak seimbang?

C. Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini antara lain :

1. Mengetahui presentase ketidakseimbangan beban dari transformator tiga fasa tak seimbang.
2. Mengetahui efesiensi transformator untuk beban seimbang.
3. Mengetahui efesiensi transformator untuk beban tidak seimbang.
4. Mengetahui peningkatan rugi daya pada transformator tiga fasa akibat beban tidak seimbang.

D. Manfaat

Penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk :

1. Bagi peneliti merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana Pendidikan program studi pendidikan teknik elektro di Universitas Negeri Makassar serta penelitian ini sebagai sarana untuk menambah wawasan, pengetahuan, dan pengalaman dalam melakukan *study* di Universitas Negeri Makassar.
2. Bagi PT. PLN (Persero) Rayon Daya dapat mengetahui efesiensi dan rugi daya yang terjadi pada transformator akibat beban tidak seimbang.
3. Bagi mahasiswa selanjutnya dapat menjadi acuan dalam menghitung rugi-rugi daya akibat beban tidak seimbang pada transformator distribusi.

2. KAJIAN TEORI

a. Pengertian Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksielektromagnet.

Pada dasarnya transformator tiga fasa ini terdiri dari tiga buah transformator satu fasa dengan tiga buah teras besi yang dipasang pada satu kerangka, dari tiga teras besi ini ditempatkan masing-masing sepasang kumparan yakni kumparan primer dan kumparan sekunder. Dengan demikian seluruhnya akan terdapat tiga buah kumparan primer dan tiga buah kumparan sekunder. Dari ketiga kumparan primer maupun ketiga kumparan sekunder dapat dihubungkan secara hubungan bintang (*star conection*) Y

dan dihubungkan segitiga (*delta conection*) Δ .

b. Prinsip Kerja Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi.

Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbal balik) antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah. Kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi. Jika satu kumparan disambung pada suatu sumber tegangan bolak-balik, suatu fluks bolak-balik terjadi di dalam inti berlaminasi, yang sebagian besar akan mengait pada kumparan lainnya, dan di dalamnya akan terinduksi suatu gaya-ggerak-listrik (ggl) sesuai dengan hukum-hukum induksi elektromagnetik Faraday, yaitu:

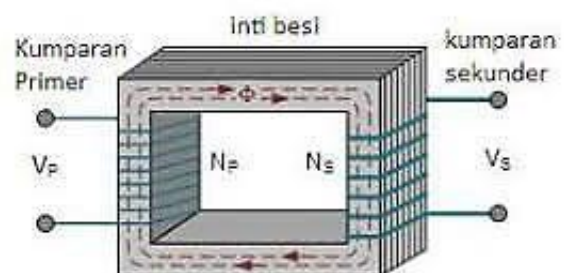
$$e = M \, di/dt$$

keterangan :

e = gaya-ggerak-listrik yang diinduksikan

M = induktansi mutual

di/dt = besarnya perubahan arus tiap satuan waktu (A/s)



Gambar 1.
Rangkaian dasar transformator

Bilamana rangkaian sekunder dihubungkan dengan beban, maka arus akan mengalir, dan dengan demikian energi listrik dipindah (sepenuhnya secara magnetik) dari kumparan primer ke kumparan sekunder.

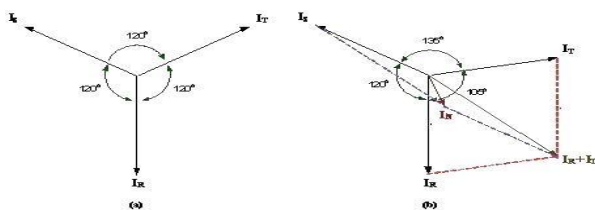
c. Ketidakseimbangan Beban pada Transformator

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

- 1). Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- 2). Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu :

- 1). Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- 2). Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- 3). Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain



Gambar 2
Vektor diagram arus

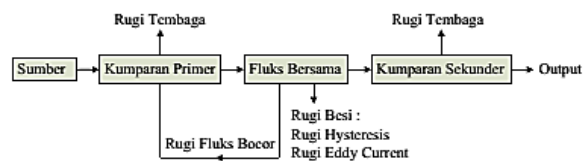
Gambar 1(a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 1(b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor

arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

d. Rugi Daya dan Efisiensi Transformator pada Beban Seimbang

1). Rugi Daya

Rugi-rugi transformator dapat diklasifikasikan atas rugi-rugi primer, rugi-rugi sekunder dan rugi-rugi inti (besi). Rugi-rugi primer dan sekunder adalah rugi-rugi daya nyata dalam *watt*. Rugi-rugi ini diakibatkan resistansi dari masing-masing belitan primer dan sekunder. Apabila transformator tidak dibebani, maka rugi-rugi daya pada sekunder adalah nol. Rugi-rugi pada transformator dapat digambarkan seperti pada gambar 3 :



Gambar. 3

Blok diagram rugi-rugi yang ada pada transformator.

2). Efisiensi

Efisiensi pada transformator adalah perbandingan antara daya keluaran (output) dengan daya masukan (input). Sebuah transformator tidak membutuhkan bagian yang bergerak untuk memindahkan energy dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Ini berarti tidak ada kerugian karena gesekan atau hambatan udara seperti yang terdapat pada mesin-mesin listrik (contoh motor listrik dan generator). Namun didalam transformator juga terdapat kerugian yang disebut rugi-rugi tembaga (copper losses) dan rugi-rugi besi (iron losses). Rugi-rugi tembaga terdapat pada kumparan primer dan sekunder, sedangkan rugi-rugi besiterdapat dalam inti besi. Rugi-

rugi ini berupa panas yang dilepaskan akibat terjadinya *Eddy Current*. Sebuah transformator yang ideal akan memiliki efisiensi sebesar 100%. Ini berarti bahwa semua daya yang diberikan pada kumparan primer dipindahkan ke kumparan sekunder tanpa adanya kerugian. Sebuah transformator yang real memiliki efisiensi dibawah 100%. Efisiensi suatu transformator dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta = \frac{P_0}{P_1} \times 100\% = \frac{P_0}{P_0 + P_{tl}} \times 100\%$$

e. Faktor Ketidakseimbangan Beban

Dengan menggunakan koefisien keseimbangan beban yaitu $a = b = c = 1$, maka arus rata-rata adalah arus fasa dalam keadaan seimbang. Jadi untuk mengetahui berapa besar ketidakseimbangan beban digunakan persamaan (2-18) (Ahmad, 2018) :

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka : } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka : } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}}$$

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka : } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}$$

$$\% I_{ketidakseimbangan} = \frac{\{a - 1 + b - 1 + c - 1\}}{3} \times 100\%$$

Semakin besar ketidakseimbangan beban suatu transformator maka rugi daya yang ditimbulkan juga akan semakin besar sehingga efisiensi dari transformator tersebut akan menurun, karena kapasitas daya yang seharusnya dapat disalurkan oleh transformator sebagian besar menjadi rugi daya yang hilang menjadi panas. Panas yang tinggi juga dapat merusak transformator, sehingga menyebabkan kerugian pada pelanggan dan PLN. Berdasarkan Prosedur Test Pengukuran unjuk kerja Transformator distribusi yang dilakukan oleh PLN, standar ketidakseimbangan beban yang diizinkan adalah maksimum sebesar 25%.

f. Rugi Daya dan Efisiensi transformator pada beban tidak seimbang

Dalam kondisi beban tidak seimbang, rugi inti besi tetap konstan, yakni sama seperti pada kondisi beban seimbang. Sedangkan rugi tembaga transformator pada beban tidak seimbang, $P_{cu}(W)$, dinyatakan dengan persamaan:

$$P_{cu} = (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2) R_2$$

Rugi daya total transformator pada beban tidak seimbang ditentukan dengan persamaan (2-20) :

$$P_{tlu} = \text{Rugi Besi} + \text{Rugi Tembaga}$$

Efisiensi transformator pada beban tidak seimbang, $\eta(\%)$ ditentukan dengan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{tlu}} \times 100\%$$

Peningkatan rugi daya pada transformator akibat beban tidak seimbang ditentukan dengan persamaan (2-22) :

$$\text{Peningkatan rugi daya} = P_{tlu} - P_{tl}$$

3. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian analisis deskriptif kuantitatif yaitu dengan perhitungan-perhitungan teknis untuk menggambarkan besarnya efisiensi transformator daya 3 fasa untuk beban tidak seimbang. Instrumen penelitian adalah alat atau fasilitas yang digunakan oleh peneliti dalam mengumpulkan data agar pekerjaannya lebih mudah dan hasilnya lebih baik, dalam arti lebih cermat, lengkap, dan sistematis sehingga lebih mudah diolah. Berdasarkan teknik pengumpulan data yang digunakan, maka instrumen penelitian ini menggunakan panduan dokumentasi, dan panduan observasi.

Berikut adalah tabel kisi-kisi panduan observasi, dan panduan dokumentasi.

Variabel	Sub Variabel	Indikator
Beban tidak seimbang	Transformator	1. Rugi tanpa beban
	daya tiga fasa	2. Rugi berbeban

Tabel 3.1 Kisi-kisi panduan observasi

No	Nama Dokumen Yang Dibutuhkan	Ada (✓)	Tidak Ada (✓)	Keterangan
1	Arsip laporan data pengukuran gardu.	✓		
2.	Data kerugian PLN akibat beban tidak seimbang		✓	

Tabel 3.2 Panduan dokumentasi

No	Nama Dokumen Yang Dibutuhkan	Ada (✓)	Tidak Ada (✓)	Keterangan
1	Arsip laporan data pengukuran gardu.	✓		
2.	Data kerugian PLN akibat beban tidak seimbang		✓	

Menganalisis hasil data yang diperoleh pada penelitian ini, maka dilakukan per hitungan dengan menggunakan rumus-rumus yang telah dipelajari baik pada saat kuliah maupun melalui studi literatur. Langkah-langkah perhitungannya sebagai berikut :

- a. Menentukan presentase ketidakseimbangan beban (%) dengan persamaan :

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka : } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka : } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}}$$

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka : } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}$$

$$I_{ketidakseimbangan} = \frac{\{a-1 + b-1 + c-1\}}{3} \times 100$$

- b. Menentukan rugi tembaga (Pcu) untuk beban seimbang dan tidak seimbang, dengan persamaan :

$$\text{Untuk beban seimbang } P_{cu} = 3 I_2^2 R_{02}$$

$$\text{Untuk beban tidak seimbang}$$

$$P_{cu} = (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2) R_2$$

- c. Menentukan efisiensi transformator untuk beban seimbang dan tidak seimbang dengan persamaan :

$$\eta = \frac{P_0}{P_1} \times 100\% = \frac{P_0}{P_0 + P_f + P_{cu}} \times 100\%$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Persentase Ketidakseimbangan Beban

untuk transformator PT. IPT.005 presentase ketidakseimbangan bebannya dapat dilihat pada analisis berikut :

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{46 + 61 + 153}{3} = 86.7 \text{ A}$$

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka : } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{46}{86.7} = 0.53$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka : } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{61}{86.7} = 0.703$$

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka : } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{153}{86.7} = 1.8$$

$$\begin{aligned} \% I_{ketidakseimbangan} &= \frac{\{0.53-1 + 0.703-1 + 1.8-1\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{0.47 + 0.297 + 0.8\}}{3} \times 100\% = 52.23 \% \end{aligned}$$

b. Rugi Tembaga (Pcu)

Sebelum menentukan rugi tembaga (Pcu) terlebih dahulu ditentukan R menggunakan persamaan (2-11) dengan rugi berbeban (Pcu) = 2000 W pada arus nominal, digunakan sebagai berikut :

$$P_{cu} = 3 I^2 R$$

$$\text{Dengan } I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{160.000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 230.94 \text{ A}$$

Jadi nilai R adalah :

$$2000 = 3 \times (230.94)^2 \times R$$

$$2000 = 159.999,84 \times R$$

$$R = \frac{2000}{159.999,84} = 0.0125 \Omega$$

1). Pada keadaan beban seimbang

Untuk keadaan beban seimbang maka arusnya dirata-ratakan berdasarkan nilai arus dari tabel 4.1, maka

$$I = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} = \frac{46 + 61 + 153}{3} = 86.7 \text{ A}$$

$$P_{cu} = 3 I^2 R$$

$$= 3 \times (86.7^2) \times 0.0125$$

$$= 281.88 \text{ W}$$

2). Pada keadaan beban tidak seimbang

Untuk keadaan beban tidak seimbang, berdasarkan tabel 4.1,

$$I_a = 46 \text{ A}, I_b = 61 \text{ A}, I_c = 153 \text{ A}, \text{ maka nilai rugi tembagaanya yaitu : } P_{cu} = (I_a^2 + I_b^2) R = (I_a^2 \cdot R) + (I_b^2 \cdot R) + (I_c^2 \cdot R)$$

$$= (46^2 \cdot 0.0125) + (61^2 \cdot 0.0125) + (153^2 \cdot 0.0125) = 365.57 \text{ W}$$

3). Rugi pada penghantar netral (P_N)

$$P_N = I_N^2 \cdot R = 90^2 \times 0.0125 = 101.25 \text{ W}$$

c. Total Rugi Daya

Pada keadaan beban seimbang

$$P_{tl} = P_i + P_{cu}$$

$$= 300 \text{ W} + 383.13 \text{ W}$$

$$= 683.13 \text{ W}$$

Pada keadaan beban tidak seimbang

$$P_{tlu} = P_i + P_{cu}$$

$$= 300 \text{ W} + 466.82 \text{ W}$$

$$= 766.82 \text{ W}$$

Untuk menentukan peningkatan rugi daya pada transformator akibat beban tidak seimbang, digunakan persamaan (2-22) sebagai berikut : **Peningkatan rugi daya** = $P_{tlu} - P_{tl} = 766.82 \text{ W} - 683.13 \text{ W}$

$$= 83.69 \text{ W}$$

d. Efisiensi

Pada keadaan beban seimbang

$$P_{out} = 60.58 \text{ kVA} \times 0.85 = 51.49 \text{ kVA}$$

$$n = \frac{P_0}{P_1} \times 100\% = \frac{P_0}{P_0 + P_{tl}} \times 100\%$$

$$n = \frac{51.49}{51.49 + 683.13} \times 100\%$$

$$n = 98.70 \%$$

Pada keadaan beban seimbang

$$P_{out} = 60.58 \text{ kVA} \times 0.85 = 51.49 \text{ kVA}$$

$$n = \frac{P_0}{P_1} \times 100\% = \frac{P_0}{P_0 + P_{tlu}} \times 100\%$$

$$n = \frac{51.49}{51.49 + 766.82} \times 100\%$$

$$n = 98.53 \%$$

5.KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Ketidakseimbangan beban pada trafo terjadi karena penggunaan beban listrik yang tidak merata, untuk transformator dengan kode gardu PT.IPT005 dengan daya 160 kVA presentase ketidakseimbangan bebannya adalah 52.23 %, sedangkan rata-rata presentase ketidakseimbangan semua transformator pada penyulang Poltek sebesar 20.34 %.
2. Rata-rata efisiensi transformator saat beban seimbang pada penyulang Poltek sebesar 98.68 %
3. Rata-rata efisiensi transformator saat beban tidak seimbang pada penyulang Poltek sebesar 98.64 %
4. Total peningkatan rugi daya transformator pada Penyulang Poltek sebesar 294.715 W, jadi semakin besar ketidakseimbangan bebannya maka rugi daya pada transformator akan semakin besar.

6.REFERENSI

Kadir, Abdul. 1998. *Transmisi Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia

- 2000. *Distribusi dan Utilasi Tenaga Listrik. Transmisi Tenaga Listrik* Jakarta: Universitas Indonesia
- Lumbanraja, Hotdes. 2008. *Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi Transformator Tiga Fasa Hubungan Open-Delta (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Fakultas Teknik USU)*. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Saputro, Ahmad Eko Yuli. 2018. *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi di PT. PLN (PERSERO) Rayon Palur Karanganyar*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Setiadji, Julius Sentosa; Tabrani Machmudsyah dan Yanuar Isnanto. 2006. *Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi*. Jurnal Teknik Elektro. 6(1): 69
- Sogen, Markus Dwiyanto Tobi. 2018. *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi di PT PLN (PERSERO) Area Sorong*. Jurnal Elektro Luceat. 4(1): 2-6
- Stevenson, William D Stevenson. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi Keempat*. Bandung: Erlangga
- Warman, Eddy dan Rizky Ferdinan. 2014. *Analisa Pemilihan Trafo Distribusi Berdasarkan Biaya Rugi-rugi daya dengan Metode Nilai Tahunan*. Singuda Ensikom. 9(1): 14-15
- Za'im, Mukhammad Rif'at. 2014. *Analisis Transformator Daya 3 Fasa 150 KV/ 20 KV pada Gardu Indukungan PLN Distribusi Semarang*. Edu Elektrika Journal. 3 (2): 10.